

## بررسی خواص مکانیکی تخته خرده چوب ساخته شده از کلزا و صنوبر با روش سطح پاسخ (RSM)

سجاد اکبری<sup>۱</sup>، مرتضی ناظریان<sup>۲\*</sup>، سعید رضا فرخ پیام<sup>۳</sup> و بابک نصرتی ششکل<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، پست الکترونیک: Morteza17172000@yahoo.com

۳- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۳

### چکیده

در این تحقیق امکان استفاده از ساقه کلزا به صورت مخلوط با خرده چوب صنوبر در ساخت تخته خرده چوب بررسی شد. اختلاط ساقه کلزا با خرده چوب صنوبر در پنج سطح با نسبت‌های (۹۸، ۹۳/۷۵، ۸۷/۵۰، ۸۱/۲۵، ۷۷ درصد)، نسبت رزین ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید به عنوان عامل اتصال‌دهنده در پنج سطح (۲۳، ۱۸/۷۵، ۱۲/۵۰، ۶/۲۵، ۲ درصد) و رطوبت کیک خرده چوب در پنج سطح (۱۰، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۰ درصد) به عنوان عوامل متغیر این تحقیق انتخاب شدند. خواص مکانیکی تخته‌ها شامل مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی مورد آزمون قرار گرفت. بر اساس نتایج این مطالعه افزایش ذرات ساقه کلزا به خرده چوب صنوبر موجب کاهش نسبی مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته تخته‌ها گردید و مقادیر به دست آمده از تمامی تیمارها بالاتر از حد استاندارد بود. آنالیز اثر متقابل عوامل متغیرها نشان داد که افزایش نسبت ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید و رطوبت کیک به ترتیب موجب کاهش و افزایش مدول گسیختگی تخته‌های ساخته شده گردید. مقادیر مربوط به چسبندگی داخلی تمام تیمارها، پایین تر از استاندارد می‌باشند. در این بررسی با توجه به نتایج جدول‌های تجزیه واریانس و اثر متقابل ماده اولیه و نسبت چسب و رطوبت کیک بر خواص مکانیکی تخته‌ها، بهترین تیمار تخته‌های ساخته شده با ۸۴/۳۲ درصد کلزا، نسبت ۶/۲۵ درصد MF به UF و رطوبت ۱۲ درصد با روش سطح پاسخ (RSM) به عنوان حد بهینه انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: تخته خرده چوب، اوره فرمالدئید، ملامین فرمالدئید، کلزا، خواص مکانیکی، روش سطح پاسخ.

### مقدمه

چوبی به ویژه تخته خرده چوب مورد استفاده قرار گیرد. در این خصوص محققان بررسی‌هایی را برای استفاده ضایعات ساقه کلزا به منظور تأمین بخشی از ماده اولیه و جایگزینی مواد چوبی در صنعت صفحات فشرده چوبی انجام داده‌اند. Rangavar و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی امکان استفاده از پسماند ساقه کلزا در ساخت تخته خرده چوب پرداختند. نتیجه این پژوهش نشان داد که استفاده از ساقه کلزا در

محدودیت برداشت از منابع جنگلی از یک طرف و افزایش تقاضا برای صفحات فشرده چوبی از طرف دیگر مزید بر علت شده که محققان را در پی یافتن مواد جایگزین وادار نماید. مواد لیگنوسلولزی به دست آمده از پسماندهای کشاورزی همانند ساقه کلزا از جمله موادی است که می‌تواند به عنوان مواد جایگزین منابع جنگلی در ساخت فراورده‌های

مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

ضایعات ساقه کلزا مورد استفاده در این پژوهش از مزارع روستاهای شهرستان شیراز جمع‌آوری و به وسیله خردکن کشاورزی به ابعاد ریزتر تبدیل گردید. چوب صنوبر مورد استفاده در این تحقیق به صورت رشته چوب صنوبر (پوشال کولر) آماده از کارگاه‌های پوشال‌گیری زابل تهیه و به آزمایشگاه منتقل و به صورت دستی به ابعاد به طول کمتر از ۳۰ میلی‌متر تبدیل گردید. چسب اوره فرمالدئید مورد استفاده در این تحقیق با دانسیته ۱/۲۶ گرم بر سانتیمتر مکعب، مواد جامد ۶۳ درصد، pH معادل ۷ و زمان ژله‌ای شدن ۶۰ ثانیه از شرکت چسب سامد مشهد و ملامین فرمالدئید با دانسیته ۱/۲۴ گرم بر سانتیمتر مکعب، مواد جامد ۶۰/۱ درصد، pH معادل ۹/۴ و زمان ژله‌ای شدن ۴۲ ثانیه از شرکت شیمیایی فارس شیراز تهیه شد. مواد اولیه چوبی و لیگنوسولوزی در آون تا رطوبت ۳ درصد خشک و در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری گردیدند. برای ساخت تخته‌های آزمون، نسبت رزین ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید به عنوان عامل اتصال‌دهنده در پنج سطح، نسبت وزنی ذرات ساقه کلزا با خرده‌چوب صنوبر در پنج سطح و رطوبت کیک خرده‌چوب در پنج سطح به عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شدند. متغیرهای مستقل به همراه کد و سطوح آنها و تعداد ترکیب شرایط استفاده شده در ساخت نمونه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

به منظور برآورد ضرایب رگرسیون، از روش طراحی مرکب مرکزی چرخش‌پذیر (CCRD) با نقاط دایره شکل در مرکز هر محور از فضای فاکتوریل مورد استفاده قرار گرفت. این گوناگونی نیاز به ۵ سطح از هر متغیر دارد. حد بالا از سطوح هر فاکتور به عنوان ۱/۶۸ و حد پایین به عنوان ۱/۶۸- کدگذاری گردید.

ابتدا به وسیله ترازویی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم مقداری خرده‌چوب با ذرات ساقه کلزا مورد نیاز با نسبت معین منطبق با طرح آزمون بکار رفته برای هر تیمار (تخته)

ساخت تخته خرده‌چوب سبب افزایش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته نمونه‌ها می‌گردد. درحالی‌که افزایش مقدار ساقه کلزا سبب کاهش چسبندگی داخلی و افزایش واکنشیدگی ضخامتی شده است.

بیش از ۹۰ درصد از فرآورده‌های صفحه‌ای چوب در جهان با رزین‌های اوره فرمالدئید ساخته می‌شوند. عیب عمده این نوع چسب‌ها (اوره فرمالدئید) تخریب اتصال‌های آنها در اثر رطوبت، اسید و حرارت به ویژه حرارت‌های بالاست. Kim و No (۲۰۰۷) اثر مقدار ملامین موجود در رزین ملامین اوره فرمالدئید را بر ساختار رزین سخت شده بررسی کردند. آنان نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت ملامین به دلیل افزایش پیوند عرضی در ساختار نهایی رزین سخت شده، قدرت اتصال بهبود می‌یابد.

رطوبت ماده اولیه و توزیع آن در ضخامت کیک، نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای بر چرخه پرس، پروفیل دانسیته و خواص کاربردی پانل‌های چوبی دارد. Wolcott و همکاران (۱۹۹۰) نشان دادند که برای رسیدن به درجه حرارت انتقال شیشه‌ای لیگنین (درجه حرارت نرم‌شوندگی لیگنین) که بالاتر از همی سلولز است در کیک‌های خرده‌چوبی که با پرس معمولی تبدیل به تخته می‌شوند باید کیک خرده‌چوب دارای رطوبتی در حدود ۱۵ درصد و درجه حرارت صفحات پرس در حد ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد باشد.

به دلیل تغییرات در میزان لیگنین، همی سلولز و سلولز موجود در ضایعات لیگنوسولوزی و رفتار متفاوت آن بر روی محصولات ساخته شده از آنها در مقایسه با مواد چوبی در جریان اعمال پرس داغ و تأثیر متفاوت نوع رزین بر روی خواص این صفحات و اثری که تغییرات رطوبتی می‌تواند بر روی رفتارهای فیزیکی کیک بگذارد، لازم است بررسی‌هایی در مورد تأثیر توأم عوامل مختلف ساخت بر روی خواص کاربردی صفحات انجام گیرد. از این رو تأثیر تغییرات رطوبتی در کیک تخته خرده‌چوب ساخته شده از نسبت‌های مختلف ذرات ساقه کلزا به صنوبر و با نسبت‌های متفاوت رزین ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید بر روی خواص مکانیکی تخته خرده‌چوب

## طرح آزمون آماری

پس از انجام آزمون‌های مکانیکی، نتایج به دست آمده در قالب طرح کامل تصادفی تحت آزمایش فاکتوریل و با کمک روش سطح پاسخ (RSM) مورد ارزیابی و تحلیل آماری قرار گرفتند. از این روش برای توسعه مدل ریاضی به صورت معادلات رگرسیون چند متغیره برای مدول گسیختگی (MOR)، مدول الاستیسیته (MOE) و چسبندگی داخلی (IB) تخته‌های ساخته شده مورد استفاده قرار گرفت. تعداد کل آزمون مورد نیاز برای سه متغیر مستقل بر اساس معادله  $k + (n \times 2) + 2^n$  که  $n$  مساوی تعداد متغیرها و  $k$  تعداد تکرار در مرکز مکعب است، برابر  $20 = 6 + (2 \times 3) + 2^3$  می‌باشد (Manonmani et al. 2007).

## نتایج

در این مطالعه تأثیر متغیرهای نسبت وزنی ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید ( $X_1$ )، نسبت وزنی ذرات ساقه کلزا به صنوبر ( $X_2$ ) و مقدار رطوبت کیک ( $X_3$ ) بر خواص مکانیکی تخته خرده‌چوب با استفاده از معادله رگرسیون بر مبنای آزمون فاکتوریل و با کمک روش سطح پاسخ برآورد گردید.

مقادیر آزمون‌ی به دست آمده MOR، MOE، IB را می‌توان به عنوان یک تابع از متغیرهای ساخت تخته خرده‌چوب بیان نمود (جدول ۱). رابطه رگرسیونی بین مقادیر MOR، MOE، IB و متغیرهای ساخت برای واحدهای کدگذاری شده بشرح زیر است:

توزین و داخل یک دستگاه چسبزن آزمایشگاهی ریخته شد و به مدت ۵ دقیقه به منظور اختلاط مناسب رزین با ذرات هم زده شد. مقدار رزین خشک مورد استفاده برابر ۱۰ درصد وزن خشک ماده چوبی برای هر تخته ثابت در نظر گرفته شد. غلظت رزین مورد استفاده ۶۰ درصد ثابت گردید. پس از اختلاط رزین با ذرات خرده‌چوب، میزان رطوبت نهایی به ۱۱ درصد رسید. ذرات آغشته به رزین به طور دستی و یکنواخت در داخل یک قالب چوبی به ابعاد  $22 \times 35 \times 35$  سانتی‌متر ریخته شد. پس از خروج قالب کیک به دست آمده در داخل دستگاه پرس هیدرولیکی تحت فشار ۱۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و درجه حرارت ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۶۰ ثانیه قرار گرفت. با کمک شابلون ضخامت تخته‌ها در حد ۱۶ میلی‌متر تثبیت شد. دانسیته تخته‌ها برابر  $0.65$  گرم بر سانتی‌متر مکعب ثابت گردید. پس از مشروط سازی در اتاق کليما تيزه در رطوبت نسبی ۶۵ درصد و حرارت  $2 \pm 20$  درجه سانتی‌گراد به مدت دو هفته نمونه‌ها بر اساس استاندارد EN 326-1 بریده شدند. سپس ویژگی‌های خمشی بر اساس دستورالعمل EN 310 (1996) و نمونه‌های چسبندگی داخلی بر اساس دستورالعمل EN 319 (1996) اندازه‌گیری شدند.

از دستگاه طیف‌سنج مادون‌قرمز تبدیل فوریه (Bruker Optics Ft Tensor 27, Germany) برای آنالیز ساقه کلزا و ترکیب ساقه کلزا و رزین‌های (MF، UF، MUF) پلیمر شده استفاده شد. به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها، ابتدا مقدار کمی از لایه مغزی با اندکی برمید پتاسیم (KBr) مخلوط و آسیاب گردید و بعد به قرص نازکی تبدیل شد.

مدل معادله برای MOR:

$$\text{MOR} = 13/84 - 1/24 X_1 - 1/71 X_2 - 0/34 X_3 + 0/65 X_1^2 + 0/96 X_2 X_3 \quad (1)$$

مدل معادله برای MOE:

$$\text{MOE} = 2467/76 - 29/06 X_1 - 84/72 X_2 - 99/05 X_3 + 109/11 X_2^2 + 150/09 X_1 X_2 \quad (2)$$

مدل معادله برای IB:

$$\text{IB} = 0/14 + 0/29 X_1 - 0/24 X_2 - 0/22 X_3 + 0/16 X_2^2 - 0/15 X_2 X_3 \quad (3)$$

داده‌های مشاهده شده  $R^2=0/91$  برای MOR،  $R^2=0/90$  برای MOE و  $R^2=0/94$  برای IB وجود دارد. میزان درصد احتمال F در جدولهای ۲ تا ۴ برای مدل سطح پاسخ کمتر از ۰/۰۵ است که نشان می‌دهد این مدل از نظر آماری معنی‌دار است.

از مدل توسعه یافته (ANOVA) برای تحلیل داده‌ها و توصیف نتایج استفاده شد. به منظور درک بهتر از نتایج، مدل‌های پیش‌بینی شده در شکل‌های سه‌بعدی (شکل ۱، ۲ و ۳) نشان داده شده‌اند. همچنین جدولهای تجزیه واریانس (۲، ۳ و ۴) به صورت جداگانه بیان شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، یک تطابق ایده‌آلی بین مقادیر پیش‌بینی شده و

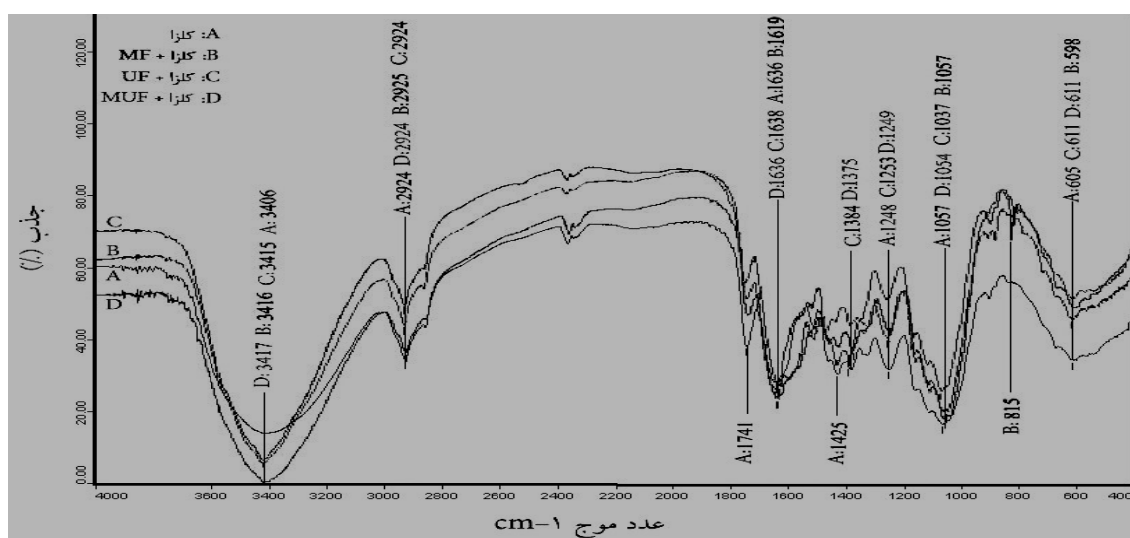
جدول ۱- ترکیب شرایط ساخت تخته خرده‌چوب با کمک روش سطح پاسخ (RSM) به همراه نتایج

IB (MPa)	متغیرهای وابسته		متغیرها (%)			کدگذاری متغیرها			شماره تخته
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	رطوبت	کلزا به صنوبر	ملا مین به اوره	X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
۰/۱۳۶	۲۴۳۸	۱۳/۰۵	۱۵	۸۷/۵۰	۱۲/۵۰	۰	۰	۰	۱
۰/۱۳۶	۲۵۵۸	۱۳/۱۶	۱۸	۹۳/۷۵	۱۸/۷۵	۱	۱	۱	۲
۰/۱۲۵	۲۴۳۶	۱۵	۱۵	۸۷/۵۰	۱۲/۵۰	۰	۰	۰	۳
۰/۱۵۶	۲۴۳۹	۱۳/۴۵	۱۵	۸۷/۵۰	۱۲/۵۰	۰	۰	۰	۴
۰/۲۰۹	۲۷۸۸	۱۵/۴۲	۱۲	۸۱/۲۵	۱۸/۷۵	-۱	-۱	۱	۵
۰/۱۴	۲۳۸۶/۳	۱۲/۳۶	۱۲	۹۳/۷۵	۶/۲۵	-۱	۱	-۱	۶
۰/۱۲۷	۲۴۳۶	۱۳/۹	۱۵	۸۷/۵۰	۱۲/۵۰	۰	۰	۰	۷
۰/۲۲۲	۲۷۲۶	۱۱	۱۲	۹۳/۷۵	۱۸/۷۵	-۱	۱	۱	۸
۰/۱۳۶	۲۴۳۸	۱۳	۱۵	۸۷/۵۰	۱۲/۵۰	۰	۰	۰	۹
۰/۱۵۸	۲۷۶۹	۱۶/۳۸	۱۸	۸۱/۲۵	۶/۲۵	۱	-۱	-۱	۱۰
۰/۱	۲۵۲۲	۱۸/۴۱	۱۵	۸۷/۵۰	۲	۰	۰	-۱/۶۸	۱۱
۰/۲۴۳	۲۸۳۳	۱۷/۱۶	۱۵	۷۷	۱۲/۵۰	۰	-۱/۶۸	۰	۱۲
۰/۱۶	۲۹۶۹	۱۹/۹۷	۱۲	۸۱/۲۵	۶/۲۵	-۱	-۱	-۱	۱۳
۰/۲۱	۲۳۳۲	۱۳/۰۶	۱۵	۸۷/۵۰	۲۳	۰	۰	۱/۶۸	۱۴
۰/۰۷۹	۲۳۳۶	۱۳/۰۳	۱۸	۹۳/۷۵	۶/۲۵	۱	۱	-۱	۱۵
۰/۱۸	۲۳۱۱	۱۴/۱۹	۱۸	۸۱/۲۵	۱۸/۷۵	۱	-۱	۱	۱۶
۰/۱۰۴	۲۲۸۹	۱۳/۹۴	۲۰	۸۷/۵۰	۱۲/۵۰	۱/۶۸	۰	۰	۱۷
۰/۱۲۷	۲۶۳۹	۱۳/۰۹	۱۵	۸۷/۵۰	۱۲/۵۰	۰	۰	۰	۱۸
۰/۱۲۴	۲۶۳۹	۱۳	۱۵	۹۸	۱۲/۵۰	۰	۱/۶۸	۰	۱۹
۱/۱۸	۲۵۶۱	۱۳/۰۳	۹/۹۵	۸۷/۵۰	۱۲/۵۰	-۱/۶۸	۰	۰	۲۰

رزین از بین می‌رود. جذب در محدوده  $1619\text{cm}^{-1}$  تا  $1638\text{cm}^{-1}$  احتمالاً مربوط به دیگر ترکیبات دارای گروه‌های کربونیل در چوب و  $\text{H}_2\text{O}$  جذب شده در سلولز را نشان می‌دهد. طول‌موج کوچک در محدوده  $1425\text{cm}^{-1}$  تا  $1442\text{cm}^{-1}$  نشان‌دهنده ارتعاشات آروماتیک گروه فینیل است (Bodirlau *et al.*, 2012). پیک و پهنای محدوده  $1375\text{cm}^{-1}$  و  $1384\text{cm}^{-1}$  در پانلهای متشکل از ذرات ساقه کلزا + MUF و کلزا + UF نشان‌دهنده یک پیوند اتری در گروه هیدروکسیل در همی سلولز و لیگنین می‌باشد (Colom *et al.*, 2003). طول‌موج  $1248\text{cm}^{-1}$  مشخصه کشش C-O لیگنین و زایلان می‌باشد (Pandey و Pitman, 2003) و یا معرف تغییر شکل ارتعاش کششی  $\text{CH}_2\text{-OH}$  و C-O-C سلولز می‌باشد (Gierlinger *et al.*, 2008). تغییرات در طول‌موج  $1057\text{cm}^{-1}$ ،  $1054\text{cm}^{-1}$  و  $1037\text{cm}^{-1}$  در پانلهای ساخته شده مربوط به گروه‌های عاملی CH می‌باشد (Teaca, 2009). همچنین می‌توان به‌وضوح دید که حداکثر جذب در طول‌موج  $815\text{cm}^{-1}$  در پانلهای ساخته شده با رزین ملامین فرمالدئید دیده می‌شود که این امر می‌تواند به دلیل جایگزین شدن حلقه آروماتیک به  $\text{C}=\text{C}$  گروه آلفاتیک در زمان پرس پانل‌ها باشد. پیک  $605\text{cm}^{-1}$  تا  $611\text{cm}^{-1}$  مربوط به CH- خمشی می‌باشد (Kumar *et al.*, 2013).

## مطالعه ساختار شیمیایی و نوع پیوندها با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR

برای شناسایی ترکیبات ساقه کلزا و پیوندهای به وجود آمده با چسب (MF، UF، MUF) از طیف‌سنجی FT-IR بین طول‌موج  $600\text{cm}^{-1}$  تا  $4000\text{cm}^{-1}$  استفاده شد (شکل ۱). همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، طول‌موج در  $3406\text{cm}^{-1}$  تا  $3417\text{cm}^{-1}$  نشان‌دهنده ارتعاش کششی متقارن OH در مولکول سلولز است (Zhou, *et al.*, 2005) و پهنی پیک به علت پیوند هیدروژنی بین مولکولی بین سلولز و رزین MUF است، به عبارتی دیگر پیوندهای هیدروژنی N-H از  $\text{NH}_2$  به علت واکنش متیلینیزاسیون که در جریان اتصالات عرضی اتفاق افتاده تشکیل شده‌اند (Edoga, 2006). به وسیله پیک‌های به‌دست آمده از طیف IR می‌توان پیوندهای هیدروژنی ایجاد شده را در خرده‌ها و پانل‌ها مشخص کرد (Coates, 2000). طول‌موج در محدوده  $2924\text{cm}^{-1}$  و  $2925\text{cm}^{-1}$  نشان‌دهنده ارتعاش کششی متقارن C-H است که مربوط به  $\text{CH}_2$  اتر،  $\text{CH}_2\text{OH}$  و  $\text{N-CH}_2$  است (Kumar *et al.*, 2013). طول‌موج  $1741\text{cm}^{-1}$  مربوط به کشش  $\text{C}=\text{O}$  غیر مزدوج و مرتبط با گروه‌های کربونیل، آلدهید و کتون موجود در لیگنین و همی سلولزها (زایلان) است (Colom *et al.*, 2003). این پیک در اثر واکنش با



شکل ۱- طیف FT-IR از نمونه‌های ساقه کلزا، ساقه کلزا + UF، ساقه کلزا + MF و ساقه کلزا + MUF

## مدول گسیختگی (MOR) و مدول الاستیسیته (MOE)

اثر متقابل متغیرهای مورد بررسی (نسبت ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید، نسبت وزنی ذرات ساقه کلزا به خرده چوب صنوبر و رطوبت کیک) بر روی MOR و MOE به ترتیب در شکلهای ۱ و ۲ و معادلات ۱ و ۲ نشان داده شده است. همچنین روابط معنی دار نتایج به دست آمده تحت تأثیر متغیرهای ذکر شده به ترتیب در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. با توجه به رابطه ۱ می توان دریافت که ضریب خطی ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ) برای MOR مقادیر منفی را نشان می دهد. این مطلب نشان دهنده آن است که با افزایش نسبت رزین ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید و نسبت ذرات کلزا به خرده چوب صنوبر، MOR تخته خرده چوب کاهش و با افزایش درصد رطوبت کیک افزایش می یابد. ضریب

تأثیر متقابل  $X_1^2$  و  $X_2X_3$  و مربع اثرات  $X_1, X_2, X_3$  اگرچه مثبت است، اما تأثیر آن و مقایسه با اثرات مستقل آنها به طور قابل ملاحظه ای در افزایش MOR کمتر است.

بیشترین میزان MOR مربوط به تخته ساخته شده با نسبت ۶/۲۵ درصد وزنی ملامین فرمالدئید، ۸۱/۲۵ درصد وزنی ذرات ساقه کلزا و ۱۲ درصد رطوبت کیک برابر با ۱۹/۹۷ نیوتن بر میلی متر مربع و کمترین آن مربوط به تخته ساخته شده با ۱۸/۷۵ درصد وزنی ملامین فرمالدئید، ۹۳/۷۵ درصد وزنی ذرات ساقه کلزا و ۱۲ درصد رطوبت کیک برابر با ۱۱ نیوتن بر میلی متر مربع می باشد. طبق استاندارد EN ۳۱۲-۲ حداقل MOR لازم برای تخته خرده چوب ۱۳ نیوتن بر میلی متر مربع می باشد.

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه واریانس ANOVA برای MOR (روابط معنی داری)

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار احتمال P>F
مدل	۸۳/۵۷	۹	۹/۲۹	۱۱/۸۱	۰/۰۰۰۳
$X_1$	۲۱/۰۸	۱	۲۱/۰۸	۲۶/۸۲	۰/۰۰۰۴
$X_2$	۴۰/۱۲	۱	۴۰/۱۲	۵۱/۰۳	<۰/۰۰۰۱
$X_1^2$	۶/۶۰	۱	۶/۶۰	۸/۴۰	۰/۰۱۵۹
$X_2X_3$	۷/۳۲	۱	۷/۳۲	۹/۳۱	۰/۰۱۲۲
فقدان تناسب	۴/۸۷	۵	۰/۹۷	۱/۶۳	۰/۳۰۳۳
انحراف معیار	۰/۸۹				
					$R^2 = ۰/۹۱۴۰$ (همبستگی)

جدول ۳- نتایج حاصل از تجزیه واریانس ANOVA برای MOE (روابط معنی داری)

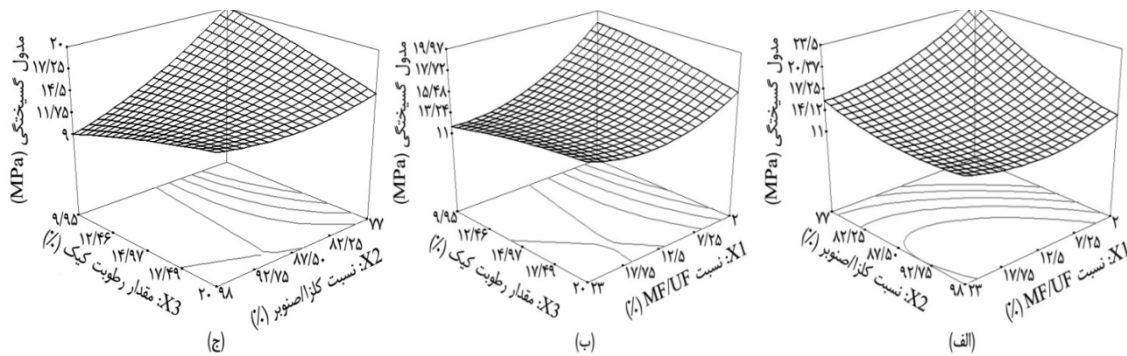
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار احتمال P>F
مدل	۶۴۴۲۰۰	۹	۷۱۵۸۱/۲۹	۱۰/۰۳	۰/۰۰۰۶
$X_2$	۹۸۰۱۴/۸۵	۱	۹۸۰۱۴/۸۵	۱۳/۷۳	۰/۰۰۴۱
$X_3$	۱۳۴۰۰۰	۱	۱۳۴۰۰۰	۱۸/۷۷	۰/۰۰۱۵
$X_2^2$	۱۷۱۲۰۰	۱	۱۷۱۲۰۰	۲۳/۹۹	۰/۰۰۰۶
$X_1X_2$	۱۸۰۲۰۰	۱	۱۸۰۲۰۰	۲۵/۲۵	۰/۰۰۰۵
فقدان تناسب	۳۷۴۹۸/۴۵	۵	۷۴۹۹/۶۹	۱/۱۱	۰/۴۵۷۰
انحراف معیار	۸۴/۴۸				
					$R^2 = ۰/۹۰۰۳$ (همبستگی)

خرده چوب صنوبر، MOE تخته خرده چوب کاهش و با افزایش درصد رطوبت کیک افزایش می یابد. ضریب تأثیر متقابل  $X_2^2$  و  $X_1X_2$  و مربع اثرات  $X_1, X_2, X_3$  اگرچه مثبت است، اما تأثیر آن و مقایسه با اثرات مستقل آنها به طور قابل ملاحظه ای در افزایش مدول الاستیسیته کمتر

رابطه ۲ اثر متغیرها بر MOE را بیان می کند. با توجه به رابطه ۲ می توان دریافت که ضریب خطی ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ) برای MOE مقادیر منفی را نشان می دهد. این مطلب نشان دهنده آن است که با افزایش نسبت رزین ملامین فرمالدئید به اوره فرمالدئید و نسبت ذرات کلزا به

۲۹۶۹ نیوتن بر میلی متر مربع و کمترین آن ۲۲۸۹ نیوتن بر میلی متر مربع است. حداقل استاندارد لازم برای مدول الاستیسیته ۱۸۰۰ نیوتن بر میلی متر مربع است.

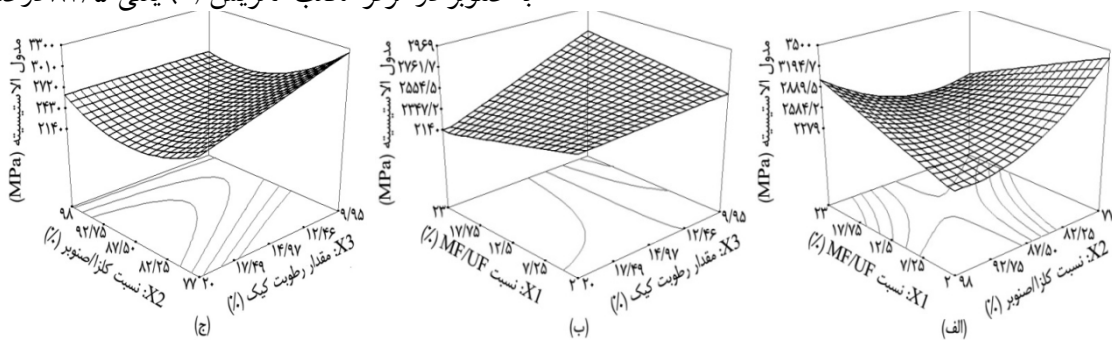
است. بیشترین میزان مدول الاستیسیته مربوط به تخته ساخته شده با نسبت ۶/۲۵ درصد وزنی ملامین فرمالدئید، ۸۱/۲۵ درصد وزنی ذرات ساقه کلزا و ۱۲ درصد رطوبت کیک با



شکل ۲- اثر متقابل متغیرهای مورد استفاده بر مدول گسیختگی (MOR) تخته

در نمودار ۲- ب و ۳- مشاهده می شود که با کاهش نسبت ملامین به اوره و با کاهش مقدار رطوبت کیک مدول گسیختگی در حداکثر قرار دارد ولی مدول الاستیسیته با افزایش نسبت ملامین به اوره و با کاهش مقدار رطوبت کیک در حداکثر خود قرار می گیرد. درحالی که با افزایش نسبت ملامین به اوره و با افزایش مقدار رطوبت کیک مدول گسیختگی کاهش می یابد. همچنین مشاهده می گردد که با افزایش نسبت ملامین به اوره و کاهش مقدار رطوبت کیک مدول گسیختگی در حداقل ممکن قرار می گیرد؛ اما حداقل مدول الاستیسیته زمانی است که نسبت ملامین به اوره و مقدار رطوبت کیک افزایش دارد. کاهش یا افزایش مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته در نتیجه تغییرات نسبت ملامین به اوره فرمالدئید و نسبت ساقه کلزا به صنوبر وقتی است که نسبت ساقه کلزا به صنوبر در مرکز مکعب ماتریس (۰) یعنی ۸۷/۵ درصد باشد.

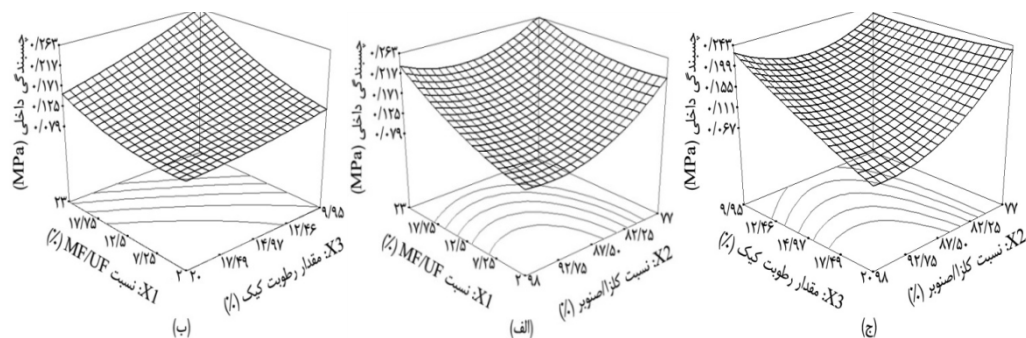
بر اساس نمودار ۲- الف و ۳- الف مشاهده می شود که با کاهش نسبت ملامین به اوره و با کاهش نسبت ساقه کلزا به صنوبر مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته در حداکثر قرار دارد. درحالی که با افزایش نسبت ملامین به اوره و با افزایش نسبت ساقه کلزا به صنوبر مدول گسیختگی در حداقل ممکن قرار می گیرد، ولی حداقل مدول الاستیسیته زمانی است که نسبت ملامین به اوره کاهش و نسبت ساقه کلزا به صنوبر افزایش می یابد. همچنین مشاهده می گردد که با افزایش نسبت ملامین به اوره و کاهش نسبت ساقه کلزا به صنوبر مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته در نتیجه تغییرات نسبت ملامین به اوره فرمالدئید و نسبت ساقه کلزا به صنوبر وقتی است که نسبت ساقه کلزا به صنوبر در مرکز مکعب ماتریس (۰) یعنی ۱۵ درصد باشد.



شکل ۳- اثر متقابل متغیرهای مورد استفاده بر مدول الاستیسیته (MOE) تخته







شکل ۴- اثر متقابل متغیرهای مورد استفاده بر چسبندگی داخلی (IB) تخته

و خرده چوب صنوبر، احتمال می‌رود به دلیل قرار گرفتن رزین مصرفی در محیط اسیدی، رزین قبل از اعمال حرارت و فشار کامل پرس پلیمر گردد و کارایی چسبندگی آن کاهش یابد (Doust Hosseini, 2007).

### بحث

خواص شیمیایی از قبیل pH و ظرفیت بافرکنندگی دو عامل مهم و تأثیرگذار روی سرعت پلیمریزاسیون رزین UF در پرس می‌باشد. وجود مواد استخراجی در چوب pH و ظرفیت بافرکنندگی متفاوتی را به وجود می‌آورد. بر اساس نتایج Johns و Niazi (۱۹۸۰) pH بالا و ظرفیت بافرکنندگی پایین در پانلهای چوبی بهتر می‌باشد، بخصوص هنگامی که رزین UF است. از این رو با توجه به درصد بیشتر ذرات ساقه کلزا نسبت به خرده چوب صنوبر و همچنین درصد بیشتر رزین UF به MF در همه ترکیب شرایط، می‌توان چنین نتیجه گرفت که با افزایش نسبت رزین MF و کم شدن ماتریس تأثیرگذارتر، سرعت پلیمریزاسیون رزین کمتر شده و منجر به تشکیل اتصالاتی که نمی‌توانند آنچنان که در حد انتظار باشد، گردد. در نهایت موجب افزایش کمتر از حد انتظار و یا حتی کاهش مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته می‌گردد. همچنین pH محلول رزین برای UF و MF متفاوت بوده است، به طوری که بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده برای UF برابر ۷ و برای MF برابر ۹/۴ بوده است. با

حداقل مقدار IB مربوط به تخته ساخته شده از ۹۸ درصد نسبت ساقه کلزا، ۲۰ درصد مقدار رطوبت کیک و ۱۲/۵ درصد نسبت ملامین برابر با ۰/۰۷۹ نیوتن بر میلی‌متر مربع و بیشترین آن را تخته ساخته شده از ۲۳ درصد نسبت ملامین، ۷۷ درصد نسبت ساقه کلزا و ۱۵ درصد رطوبت کیک برابر با ۰/۲۶۳ نیوتن بر میلی‌متر مربع به خود اختصاص داده است. با وجود این تمامی تخته‌های ساخته شده پایین‌تر از حد استاندارد EN است. علت این امر می‌تواند به دلیل عدم سازگاری بین رزین‌های فرمالدئیدی و ذرات غیرقطبی کاه کلزا باشد که اتصال ضعیفی بین آنها ایجاد شده که منجر به کاهش چسبندگی داخلی می‌شود. به طور کلی منابع غیرچوبی مانند چوب پهن برگان از سلول‌های گوناگونی تشکیل شده‌اند و این سلول‌ها در اثر ضربات خردکن، به ذرات ریزتری تبدیل می‌شوند (Meinlschmidt, et al., 2008). سطح ویژه این ذرات ریز به مراتب بزرگ‌تر از خرده چوب پهن برگان است که باعث جذب زیادتر چسب می‌گردد. در نتیجه پوشش ذرات توسط چسب کمتر خواهد بود. سطح ساقه کلزا و به تبع آن خرده‌های کلزا مانند کاه گندم پوشیده از لایه‌هایی است که قادر به تر شدن و جذب رزین اوره فرمالدئید نخواهد بود (Adcock, et al., 1999). در نتیجه دو پدیده فوق، چسبندگی بین ذرات کم شده و چسبندگی داخلی تخته‌ها کاهش پیدا می‌کند. همچنین به دلیل اسیدی بودن ساقه کلزا

مقدار خود می‌رسد. این می‌تواند در نتیجه افزایش فشار بخار اشباع باشد. با افزایش فشار بخار اشباع به‌طور کلی فرایند پلی‌کندانسیون رزین‌های سنتتیک خصوصاً آمینوپلاستها به شدت کاهش می‌یابد. این کار در نتیجه تضاد و فشارهای بین مولکولی زنجیرهای پلیمر که باعث نیروی دفع بیشتر بین گروه‌های فانکشنال پلیمر از هم دیگر می‌شود، می‌باشد. این شدت کاهش در مدول الاستیسیته برای وقتی که میزان MF افزایش می‌یابد و همزمان رطوبت نیز افزایش می‌یابد، بیشتر است. در واقع این موضوع به دلیل آن است که تعداد گروه‌های تراموتیل ملامین موجود در زنجیره پلیمری MF در نتیجه فشار دفعی بین پلیمرها بیشتر است.

در حضور رطوبت، دمای انتقال شیشه‌ای لیگنین و همی سلولز چوب به شدت کاهش می‌یابد و در دمای پرس، خرده‌چوب مانند یک ماده نرم عمل می‌کند و مقاومتش در برابر نیروی فشاری صفحات پرس به حداقل می‌رسد (Wolcott et al., 1990). تحت چنین شرایطی افزایش انعطاف‌پذیری ذرات خرده‌چوب، ضایعات ناشی از شکستگی خرده‌چوب‌ها را تقلیل می‌دهد. در اثر افزایش رطوبت، حرارت از صفحات پرس سریع‌تر به لایه میانی رسیده و موجب انعقاد بهتر چسب در این لایه می‌گردد. همچنین نقاط اتصال ایجاد شده توسط ذرات چسب بین خرده‌چوب‌ها به‌ویژه در لایه سطحی به حداکثر می‌رسد و موجب افزایش مقاومت خمشی می‌گردد. تخریب در خرده‌چوب‌های لایه سطحی در شرایطی که رطوبت کم باشد با فرار رطوبت به طرف مغز کیک، تشدید شده و مقدار مقاومت خمشی تخته کم می‌شود.

رطوبت زیاد واکنش پلیمر شدن رزین اوره فرمالدئید را تحت تأثیر قرار داده و آن را به تأخیر می‌اندازد (Doust Hosseini, 2007). همچنین با زیاد شدن حجم بخار آب و گازهای ناشی از پلیمر شدن رزین و متصاعد شدن بعضی از مواد استخراجی فرار خرده‌چوب، فشار گاز در تخته نیز افزایش یافته که ممکن است منجر به باز شدن لایه میانی و کاهش چسبندگی داخلی گردد (Doust Hosseini, 2007).

توجه به اینکه حد مناسب pH برای سخت‌سازی کامل رزین‌های آمینوپلاست در حرارت‌های متعارف و قابل استفاده ۵-۶ می‌باشد، در نتیجه عدم کاربرد هاردنر در فرایند تولید تخته‌ها و بالا بودن pH رزین MF باعث خواهد شد تا فرایند پلی‌کندانسیون رزین MF با سرعت کمتری ادامه یافته و تعداد اتصالات شیمیایی که در این فرایند رخ می‌دهد کاهش یابد.

گیاهان یکساله از قبیل کلزا نسبت به چوب پهن‌برگان و سوزنی‌برگان مواد استخراجی بیشتری دارند (Martunis, 2008). بزرگ‌ترین اثر مواد استخراجی کم کردن آب‌دوستی و نفوذپذیری چوب است. مواد استخراجی منشأ مشکلات زیادی در چسبندگی هستند که از مرحله خشک‌کردن چوب در فرایند آماده‌سازی برای چسب زنی نشأت می‌گیرند. وقتی رطوبت از چوب خارج می‌شود، همراه خود مقداری از مواد استخراجی را جابجا می‌کند (Jahan Latibari, 2007)؛ و با توجه به اینکه عملکرد رزین MF بر روی چوب‌های با مواد استخراجی زیاد به دلیل اسیدیته زیادتر محدودتر است می‌تواند دلیلی بر کم شدن مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته در اثر افزایش نسبت ملامین به اوره فرمالدئید و افزایش نسبت ساقه کلزا به صنوبر باشد.

همچنین یکی دیگر از عواملی که تأثیر بسزایی بر ویژگی‌های مقاومتی تخته خرده‌چوب دارد، نسبت فشردگی می‌باشد. بدین ترتیب که با افزایش ضریب فشردگی، ویژگی‌های مقاومتی تخته بهبود خواهد یافت (Nazerian, 2013). ساقه کلزا به دلیل دانسیته پایین، دارای میزان توده دیواره سلولی کمتر و تخلخل بیشتر است. در فرایند چسبندگی رزین از طریق تخلخل به داخل ماده چوبی نفوذ می‌کند؛ بنابراین هرچه دانسیته کمتر باشد میزان نفوذ رزین بیشتر خواهد بود. بدین ترتیب با توجه به میزان رزین ثابت برای هر تیمار می‌توان نتیجه گرفت که دلیل کاهش مدول خمشی و مدول الاستیسیته در اثر افزایش ذرات ساقه کلزا می‌تواند نفوذ بیشتر رزین و ایجاد اتصال گرسنه باشد.

بنابراین به نظر می‌رسد (شکل ۲-ب) که با افزایش رطوبت مقدار مدول الاستیسیته کاهش یافته و به حداقل

شده با ۸۴/۳۲ درصد کلزا، نسبت ۶/۲۵ درصد MF به UF و رطوبت ۱۲ درصد با روش سطح پاسخ به عنوان حد بهینه انتخاب شده است.

### منابع مورد استفاده

- Adcock, P., Wolcott, M., and Peyer, M., 1999. Urea-Formaldehyde /Diphenyl Methane Diisocyanate copolymer Adhesives: Possible use as an adhesive system for straw bond particleboard. Proceeding of the Third European Panel Products Symposium pp; 67-74.
- Teaca B.R. 2009. Fourier transform infrared spectroscopy and thermal analyses of lignocellulose fillers treated with organic anhydrides. Rom. Journ. Phys. 54(1-2): 93-104.
- Coates, J. 2000. Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. In: Meyers R, editor. Encyclopedia of Analytical Chemistry. Chichester: John Wiley and Sons, 2000. pp. 10815-10837.
- Colom, X., Carrillo F., Nogues F., and Garriga, P., 2003. Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy, *Polym. Degrad. Stab.*, 80, 543-549, 2003.
- Doust Hosseini, K. 2007. Production technology and application of wood compressed panels, Tehran University Press, Volume II, page 708.
- Edoga, MO. 2006. Comparative study of synthesis procedures for urea-formaldehyde resins (Part I). *Leonardo Electron J Pract Technol*;72:607-17.
- European Standard EN 310, 1996. "Wood based panels, determination of modulus of elasticity in bending and bending strength," European Standardization Committee, Brussels.
- European Standard EN 312. 2003. Particleboards-Specifications. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- European Standard EN 319, 1996. Wood based panels, determination of tensile strength perpendicular to plane of the board. European Standardization Committee, Brussels.
- European Standard EN 326-1, 1993. "Wood based panels, Sampling, cutting and inspection. Sampling and cutting of test pieces and expression of test results." European Standardization Committee, Brussels.
- Gierlinger, N.; Goswami, L.; Schmidt, M.; Burgert, I.; Coutand, C.; Rogge, T.; Scwanninger, M., 2008: In situ FT-IR microscopic study on enzymatic treatment of poplar wood cross-sections. *Biomacromolecules*. 9: 2194- 2201. doi:10.1021/bm800300b
- Jahan Latibari, A. 2007. Adhesion Science and Technology lignocellulosic materials. Karaj Azad University Press, first edition. 348 p.

کاهش چسبندگی داخلی در اثر افزایش مقدار رطوبت کیک می‌تواند به دلیل فرار بخار آب از سطح به لایه میانی و تجمع در این لایه باشد. با افزایش رطوبت، بخار آب بیشتری به لایه میانی نفوذ کرده و موجب کاهش تراکم و دانسیته این لایه می‌گردد که در نهایت کاهش چسبندگی داخلی را دربر دارد. همچنین به دلیل دانسیته پایین مواد چوبی مورد استفاده در این تحقیق، در مقایسه با چوب‌های سنگین، تعداد بیشتری خرده‌چوب که ذاتاً نرم و قابل انعطاف بوده و دارای حجم زیادی نیز می‌باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. حجم زیاد خرده‌چوب‌ها باعث می‌شود تا ضخامت کیک به نحو قابل توجهی افزایش یابد. در نتیجه در پرس به مقدار زیادی فشرده شده که این فشردگی و تراکم خرده‌چوب‌ها نفوذپذیری کیک را کاهش داده و مانع از خروج بخار آب از تخته در زمان محدود می‌گردد. محبوس ماندن بخار در داخل تخته، سبب ضعیف شدن اتصال بین خرده‌چوب‌ها و کاهش چسبندگی داخلی تخته خرده‌چوب می‌شود (Doust Hosseini, 2007).

### نتیجه‌گیری

بیشترین میزان MOR و MOE مربوط به تخته ساخته شده با نسبت ۶/۲۵ درصد وزنی ملامین فرمالدئید، ۸۱/۲۵ درصد وزنی ذرات ساقه کلزا و ۱۲ درصد رطوبت کیک و کمترین آن مربوط به تخته ساخته شده با ۱۸/۷۵ درصد وزنی ملامین فرمالدئید، ۹۳/۷۵ درصد وزنی ذرات ساقه کلزا و ۱۲ درصد رطوبت کیک می‌باشد.

حداقل مقدار IB مربوط به تخته ساخته شده از ۹۸ درصد نسبت ساقه کلزا، ۲۰ درصد مقدار رطوبت کیک و ۱۲/۵ درصد نسبت ملامین و بیشترین آن را تخته ساخته شده از ۲۳ درصد نسبت ملامین، ۷۷ درصد نسبت ساقه کلزا و ۱۵ درصد رطوبت کیک به خود اختصاص داده است. با وجود این تمامی تخته‌های ساخته شده پایین‌تر از حد استاندارد است.

به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش بهترین تیمار از نظر کلیه خواص مکانیکی، تخته‌های ساخته

- No, B.Y., and Kim M.G., 2007. Evaluation of Melamine-Modified Urea-Formaldehyde Resins as Particleboard Binders. *Journal of Applied Polymer Science*. 106: 4148–4156.
- Nazerian, M. 2013. The lamination influence on properties of agro- based particleboard. *Wood Material Science and Engineering*. 8(2). 129-138.
- Pandey, K.K. and Pitman, A.J. 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterior-ation and Biodegradation*. 53(3): 151-160.
- Rangavar, H., Rassam, G., Aghagolpour, V. 2011. Investigation of possibility using waste in the manufacturing of particleboard stems Canola stalk. *Journal of Wood Science and Forest*. Volume 18. No:1. Pp: 91 - 104.
- Wolcott, M. P.; Kamke, F. A.; Dillard, D. A. 1990. Fundamental of flackeboard manufacture: viscoelastic behavior of the wood component *Wood and Fiber Sci*. 22 (4): 346-361.
- Zhou, D., Zhang, L., Guo, S. 2005. Mechanisms of lead biosorption on cellulose/chitin beads. *Water Research*, 39, 3755 –3762.
- Johns, W.E., Niazi, K.A., 1980. Effect of pH and buffering capacity on the gelation time of urea- formaldehyde resin. *Wood and Fiber* 12(4), 255-263.
- Kumar, A., Gupta, A., Sharma, K.V. Nasir, M., Ahamed Khan, T. 2013. Infl uence of activated charcoal as filler on the properties of wood composites. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 46: 34 –3.
- Manonmani, K., Murugan, N. and Buvanasekaran, G. 2007. Effect of process parameters on the bead geometry of laser beam welded stainless steel sheets. *Int J Adv Manuf Technol*, 32: 1125–1133. doi: 10.1007/s00170-006-0432-7.
- Martunis, A. 2008. Utilization of grand fir for the production of medium density fiberboards in pilot scale (Master’ s Thesis). In the Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology prepared on Büsgen-Institute Department of Molecular Wood Biotechnology and Technical Mycology, Georg-August-University, Göttingen, September 2008, p. 65.
- Meinlschmidt, P., Schirp, A., Dix, B., Thole, V., Brinker, N., 2008. Agricultural Residues with light parenchyma cells and Expandable filler Materials for the production of light weight particleboards. *International Panel Products Symposium; Braunschweig Germany*, 179-188.

## Investigation of mechanical properties particleboard produced using canola stalks and poplar wood by Response Surface Method (RSM)

S. Akbari<sup>1</sup>, M. Nazerian<sup>\*2</sup>, S.R. Farokhpayam<sup>3</sup> and B. Nosrati Sheshkal<sup>3</sup>

1-Graduate student, paper and wood science and technology department, University of zabol, Iran

2\*- Corresponding author, Assistant professor, paper and wood science and technology department, University of Zabol, Iran, Email: Morteza17172000@yahoo.com

3- Assistant professor, paper and wood science and technology department, University of Zabol, Iran

Received: Dec., 2014 Accepted: Jan., 2015

### Abstract

In this study, the possibility of using canola stalks mixed with poplar wood in the manufacture of particleboard was investigated. Weight ratio of canola to poplar particles was selected at five levels (98:2, 93.75:6.25, 87.50:12.50, 81.25:18.75, 77:23), the weight ratio of the melamine-formaldehyde/urea formaldehyde resin as adhesive was adjusted at five levels (23:77, 18.75:81.25, 12.50:87.50, 6.25:93.75, 2:98) and moisture content of the mat at five levels (10, 12, 15, 18, 20%) were selected as production variables. Mechanical properties of boards including MOR, MOE and IB were measured. According to the results, at higher canola stalks/poplar particle ratio, MOR and MOE of the boards decreased, but all of the values measured from the treatments were higher than standard. The results showed that increasing the ratio of melamine formaldehyde/urea formaldehyde resin decreased the bending strength, while the increasing the mat moisture increased MOR and MOE. IB values of all treatments were lower than the standard. According to the results of response surface methodology (RSM) and the effect of studied variables on the mechanical properties of the panels, the best condition for producing the panels was selected as: weight ratio of 84.32:15.68 for canola/poplar particle, MF/UF resin ratio of 6.25:93.75 and the mat moisture content of 12%.

**Keywords:** Particleboard, urea formaldehyde, melamine formaldehyde, canola, mechanical, response surface methodology